

УДК 629.423.2.001.4 : 001.891.5

*Г.С. Игнатов, А.В. Донченко, В.Р. Распопин, А.А. Сулим, П.А. Хозя, А.А. Мельник*

### ТЯГОВО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВУХСИСТЕМНОГО ЭЛЕКТРОПОЕЗДА ДЛЯ МЕЖРЕГИОНАЛЬНОГО СООБЩЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПАО «КВСЗ»

*В данной работе рассматриваются результаты тягово-энергетических испытаний электропоезда межрегионального сообщения производства ПАО «КВСЗ». По результатам выполненных исследований установлены реальные тягово-энергетические характеристики вышеупомянутого электропоезда.*

Опытный девятивагонный двухсистемный электропоезд для межрегионального сообщения с возможностью питания от контактной сети постоянного тока напряжением 3 кВ и переменного тока напряжением 25 кВ, изготовленный Публичным акционерным обществом «Кременчугский вагоностроительный завод» (ПАО «КВСЗ»), подвергался различным видам испытаний, в том числе и тягово-энергетическим. Цель данных испытаний – определение основных показателей электропоезда и оценка соответствия их нормативно-техническим документам, проверка работоспособности и эффективности его электросистем во всех режимах, предусмотренных техническим заданием (далее – ТЗ), испытание систем защиты тягового оборудования [1, 2]. На основании определенных в ходе экспериментальных исследований тягово-энергетических характеристик составляются графики движения и нормируется расход электроэнергии. Таким образом, определение тягово-энергетических характеристик нового подвижного состава является важной и актуальной задачей.

На вышеупомянутом электропоезде применяются следующие новые технические решения электросистемы и электрооборудование по сравнению с эксплуатируемыми в настоящее время электропоездами на действующих путях Украины:

- тяговые трансформаторы подвагонного исполнения;
- четырехполюсные тяговые асинхронные двигатели (ТАД) с короткозамкнутым ротором номинальной мощностью 500 кВт, которые установлены на головных вагонах электропоезда;
- питание тяговых двигателей осуществляется от тяговых инверторов;
- микропроцессорная система управления электропоездом;
- системы защиты от боксования и юза;
- в головных вагонах установлены счетчики для учета расхода электроэнергии на тягу (позволяют выполнять учет реактивной энергии в режимах потребления и рекуперации) и собственные нужды электропоезда;
- введена система оперативного отключения и защиты силовых цепей ТАД при неисправности или возникновении аварийных режимов в их цепях;

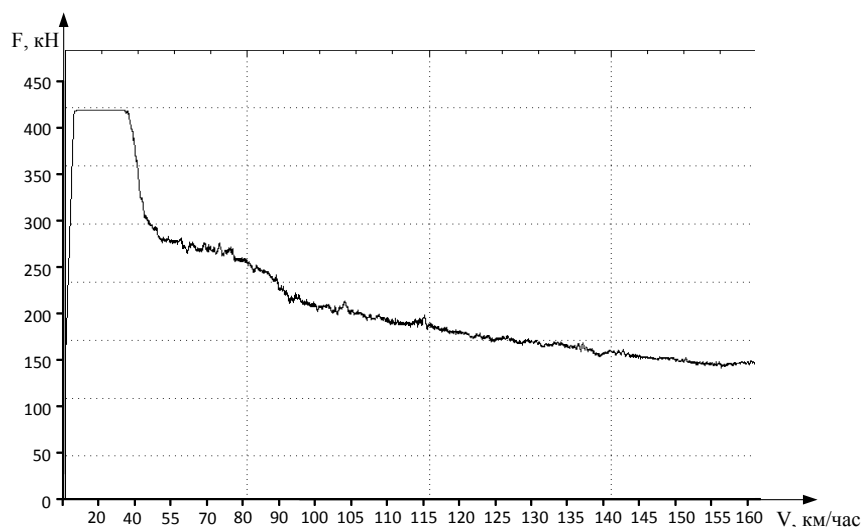
© Г.С. Игнатов, А.В. Донченко, В.Р. Распопин, А.А. Сулим, П.А. Хозя, А.А. Мельник, 2013

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

– предусмотрено рекуперативное торможение при наличии на участке других потребителей и реостатное торможение при отсутствии таковых как при питании от контактной сети постоянного тока напряжением 3 кВ, так и от переменного тока напряжением 25 кВ;

– для обеспечения комфортных условий в электропоезде установлены кондиционеры в салонах и кабинах машинистов головных вагонов, а также в салонах промежуточных вагонов.

Перед проведением тягово-энергетических испытаний были выполнены необходимые пусконаладочные работы и программно ограничена заданная сила тяги электропоезда ПАО «КВСЗ». Также выполнены монтажные работы по установке датчиков согласно методике [3] для контроля скорости, а также тока и напряжения в силовых цепях электропоезда. Испытания проводились в соответствии с методикой [3] на различных перегонах действующих путей Укрзализныци: Новомосковск – Баловка, Борисполь – Барышевка, Люботин – Ковяги, Полтава Киевская – Вакулинцы. При этом все измерения фиксировались измерительной системой, состоящей из вышеуказанных датчиков, аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и компьютера. Обработка данных осуществлялась с помощью аттестованного программного обеспечения ЭЛЕКТРО. Кроме того, система управления электропоездом позволяет регистрировать тягово-энергетические характеристики штатными измерительными приборами. Поэтому регистрация характеристик параллельно осуществлялась штатной измерительной системой электропоезда посредством CAN-интерфейса. Обработка данных, полученных со штатной измерительной системы электропоезда, выполнялась с помощью специально разработанного представителями фирмы «MEDCOM» программного обеспечения для диагностики тягового оборудования. Результаты определения тяговой характеристики с помощью штатной системы управления электропоездом и отдельной измерительной системы изображены на рис. 1 – 2. На рис. 3 изображены характеристики основного сопротивления движению для порожнего и груженого электропоезда, полученные при многочисленных измерениях и аппроксимированных в виде функций.



**Рис. 1. Тяговая характеристика зарегистрирована штатными измерительными приборами электропоезда**

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

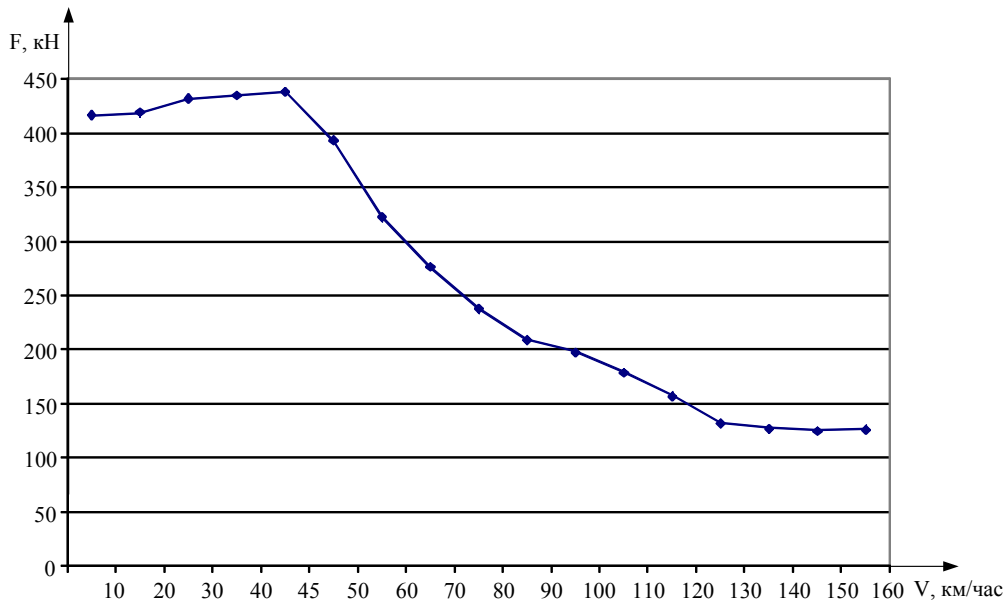


Рис. 2. Тяговая характеристика электропоезда, зафиксированная с помощью установленных датчиков

Из рис. 1-2 видно, что полученные характеристики силы тяги, зарегистрированные штатными приборами электропоезда и отдельной системой измерения на основе измерительных датчиков, АЦП и программного обеспечения ЭЛЕКТРО практически идентичны. На рис. 4 представлена тормозная электродинамическая характеристика электропоезда, полученная с помощью штатной системы электропоезда.

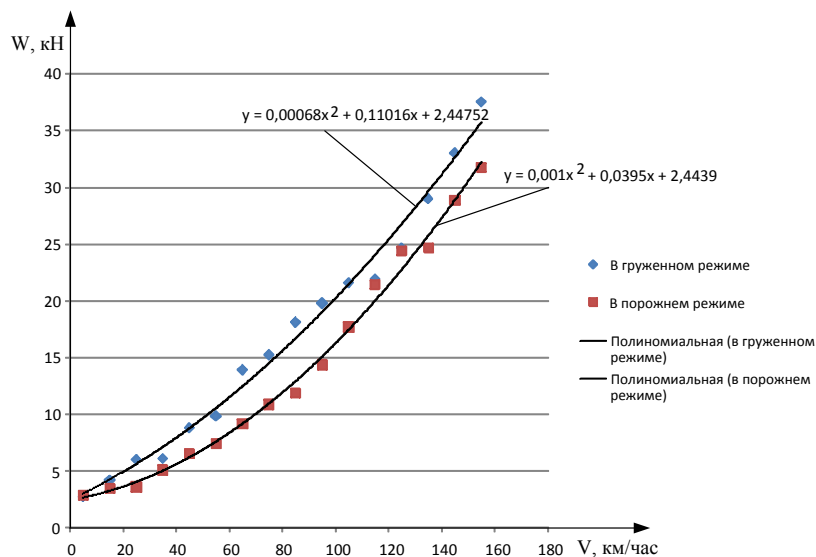
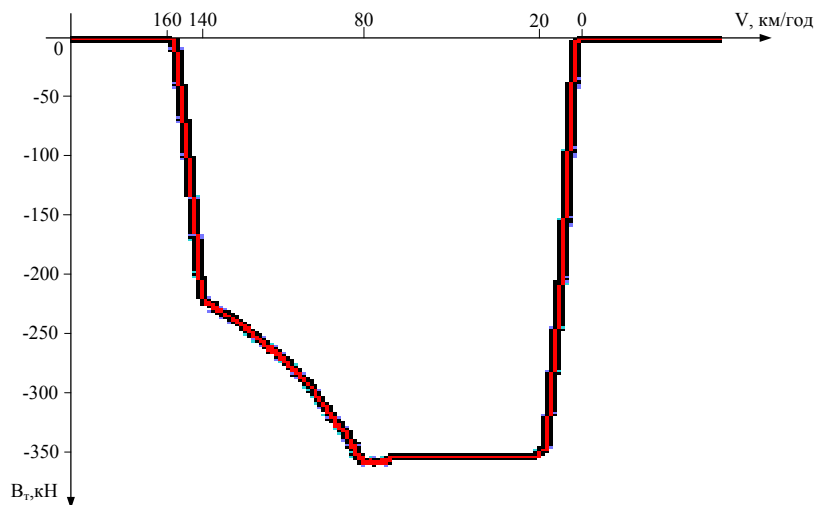


Рис. 3. Основное сопротивление движению электропоезда

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД



*Рис. 4. Тормозная электродинамическая характеристика электропоезда*

Одним из основных показателей тягово-энергетических испытаний электропоезда является удельный расход электроэнергии [4]. Данный показатель очень важен, поскольку характеризует затраты на оплату электроэнергии. Следует отметить, что на сегодняшний день затраты на электроэнергию составляют большую часть эксплуатационных расходов и имеют тенденцию к увеличению за счет повышения тарифов на электроэнергию [4, 5]. При проектировании электропоезда специалистами ПАО «КВСЗ» и фирмы «MEDCOM» уделялось особое внимание минимизации значения удельного расхода электроэнергии. При испытаниях выполнялось экспериментальное определение данного показателя при разгоне электропоезда от 0 до 160 км/час и при разгоне от 0 до 70 км/час с поддержанием скорости. В табл. 1 приведены данные удельного расхода при различных режимах движения электропоезда. По характеристике основного сопротивления движению (рис. 3) выполнены расчеты и установлены сила тяги и удельный расход электроэнергии, необходимые для поддержания эксплуатационной скорости, равной 160 км/час (табл. 1).

*Таблица 1. Удельные затраты на тягу электропоезда*

Режим движения электропоезда	Удельные затраты (расчетные), кВт·час/т·км	Удельные затраты (экспериментальные), кВт·час/т·км
При разгоне от 0 до 160 км/час	82,54	107,3
При разгоне от 0 до 70 км/час с поддержанием скорости на перегоне 2 км	–	36,5
При поддержании скорости 160 км/час	17,32	–

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Расчетное и экспериментальные значения удельных затрат при разгоне электропоезда от 0 до 160 км/час имеют разницу, составляющую около 23 %. Эту разницу можно объяснить различными характеристиками силы тяги и основного сопротивления движению. Так, в расчетном варианте сила тяги ограничена на уровне 320 кН для скоростей 0 – 60 км/час, в полученном при экспериментальных исследованиях на уровне 430 кН для скоростей 0 – 40 км/час. В расчетном варианте сопротивление движению при скорости 160 км/час – 24 кН, в экспериментально полученном – 37 кН. Таким образом, значение удельных затрат при разгоне, полученное экспериментально, больше за счет увеличения разгонных показателей электропоезда и больших значений основного сопротивления движению на высоких скоростях по сравнению с расчетным.

В процессе испытаний и опытных поездок также регистрировались разгонные показатели электропоезда (табл. 2). На рис. 5 приведена зависимость скорости от времени при задании максимальной силы тяги. Следует отметить, что полученные экспериментально разгонные показатели удовлетворяют требованиям ТЗ на электропоезд [6] при его питании от контактной сети постоянного тока напряжением 3 кВ и переменного тока напряжением 25 кВ.

*Таблица 2. Разгонные показатели электропоезда*

Номер записи	Дата записи	Средние ускорение до скорости 60 км/час, м/с <sup>2</sup>	Средние ускорение до скорости 120 км/час, м/с <sup>2</sup>	Средние ускорение до скорости 160 км/час, м/с <sup>2</sup>
Запись 5	29092012	0,58	0,35	0,26
Запись 6	29092012	0,58	0,37	0,28
Запись 8	29092012	0,59	0,38	0,28
Запись 9	29092012	0,59	0,37	0,28
Запись 11	29092012	0,57	0,37	0,28
Запись 13	29092012	0,58	0,38	0,29
Запись 1	30092012	0,53	0,36	0,27
Запись 2	30092012	0,56	0,36	0,27
Запись 3	30092012	0,53	0,37	0,27
Запись 1	01102012	0,5	0,36	0,27
Запись 3	01102012	0,59	0,38	0,27
Запись 6	01102012	0,58	0,36	0,27
Запись 7	01102012	0,57	0,37	0,27
Запись 10	01102012	0,54	0,36	0,24
Запись 11	01102012	0,58	0,39	0,27
Запись 12	01102012	0,56	0,37	0,27
Запись 1	02102012	0,48	0,33	0,25
Запись 2	02102012	0,58	0,37	0,27
Запись 3	02102012	0,55	0,36	0,26
Запись 4	02102012	0,58	0,37	0,27
Запись 5	02102012	0,57	0,38	0,28
Запись 6	02102012	0,53	0,37	0,26
Запись 1	03102012	0,6	0,38	0,28
Запись 2	03102012	0,62	0,39	0,28
Запись 4	03102012	0,58	0,38	0,28
Запись 1	04102012	0,58	0,37	0,28
Запись 2	04102012	0,57	0,38	0,27
Запись 3	03102012	–	0,37	0,27
Запись 4	03102012	0,56	0,37	0,27
Запись 5	04102012	0,56	0,36	0,27
Запись 6	04102012	0,57	0,38	0,27
<b>Среднее значение</b>		<b>0,57</b>	<b>0,37</b>	<b>0,27</b>
<b>Норма</b>		<b>≥ 0,5</b>	<b>≥ 0,33</b>	<b>≥ 0,26</b>

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

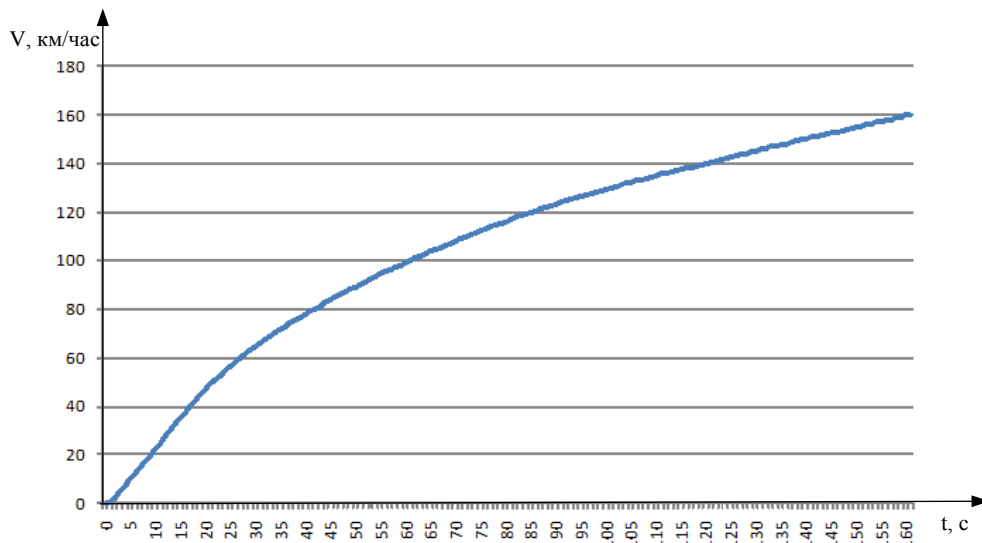


Рис. 5. Залежність швидкості від часу при розгоні електропоезда

По результатам тягово-енергетических испытаний можно сделать следующие выводы:

- експериментально получена тяговая характеристика электропоезда производства ПАО «КВСЗ» при реализации максимальной заданной силы тяги (рис. 1-2);
- експериментально получена характеристика электродинамического торможения электропоезда производства ПАО «КВСЗ» при реализации максимальной заданной силы торможения (рис. 4);
- построены характеристики основного сопротивления движению для порожнего и груженого электропоезда в виде аппроксимированных функций (рис. 3);
- получены расчетные и экспериментальные значения удельного расхода электроэнергии электропоезда при различных режимах его движения (табл.1);
- построена зависимость скорости от времени при разгоне электропоезда до эксплуатируемой скорости, равной 160 км/час (рис. 5);
- приведены значения средних ускорений до скоростей 60 км/час, 120 км/час и 160 км/час при задании максимальной силы тяги (табл. 2);
- результаты экспериментально полученных разгонных характеристик электропоезда соответствуют требованиям технического задания [6].

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Теория электрической тяги. Розенфельд В.Е., Исаев И.П., Сидоров Н.Н., Озеров М.И.: Под ред. И.П. Исаева. – М.: Транспорт, 1995. – 294 с.
- 2 Б.И. Хомяков, Ю.А.Басов, А.Ю. Белокрылин, О.Н. Назаров, Д.М. Самарец, Л.А. Кашников. Тягово-енергетические испытання електропоезда ЭД 9Т // Локомотив. – Вып. № 3, 1997. – С. 29 – 31.
- 3 ТМ 6.5.00442 – 2011 Електрорухомий склад. Типова методика тягово-енергетических випробувань.
- 4 Б.И. Хомяков, О.Н. Назаров, С.И. Меркушев, А.Ю. Белокрылин, Б.А. Фомин. Расход электроэнергии электропоездом ЭР 29 // Вестник ВНИИЖТ. – Вып. № 5, 1992. – С. 38 – 41.
- 5 ДСТУ 2155-93. Енергозбереження. Методи визначення економічної ефективності заходів з енергозбереження. Чинний від 01.01.2005р. – К.: Держстандарт України. 1993. – 20 с.
- 6 Техническое задание 62.7066.ТЗ. Электропоезд двухсистемный для межрегионального сообщения со скоростью 160 км/ч с дополнением № 2.